

Standardin SFS-EN 14778 mukaisen käsinäytteenoton vaikutus metsätäh- dehakkeen kosteusarvoon

Onni Tolvanen

Opinnäytetyö

Toukokuu 2017

Tekniikan ja liikenteen ala

Insinööri (AMK), energiatekniikan tutkinto-ohjelma

Tekijä(t) Tolvanen, Onni	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK	Päivämäärä Toukokuu 2017
	Sivumäärä 38	Julkaisun kieli Suomi
		Verkojulkaisulupa myönnetty: x
Työn nimi Standardin SFS-EN 14778 mukaisen käsinäytteenoton vaikutus metsätähdehakkeen kosteusarvoon		
Tutkinto-ohjelma Energiatekniikan tutkinto-ohjelma		
Työn ohjaaja(t) Marjukka Nuutinen, Pauliina Uusi-Penttilä		
Toimeksiantaja(t) Prometec Solutions Oy		
<p>Tiivistelmä</p> <p>Kiinteiden biopolttoaineiden näytteenottoa käsittelevä standardi SFS-EN 14778 vahvistettiin 2011, samalla se kumosi aikaisemmat eurooppalaiset standardit. Lämpö- ja voimalaitoksilla polttoaineen kosteusnäytteenotto tapahtuu kuitenkin usein vanhentuneiden standardien sekä ohjeistuksien mukaisesti. Polttoaineen näytteenotto on eniten virhettä aiheuttava laadunvalvonnan vaihe. Laadukas näytteenotto luo pohjan tehokkaalle laadunvalvonnalle.</p> <p>Opinnäytetyön tarkoituksena oli vertailla standardin mukaista biopolttoaineen käsinäytteenottoa sekä laitoksen normaalin toimintatavan mukaista polttoainetoimittajien suorittamaa näytteenottoa.</p> <p>Näytteenottomenetelmien eroa selvitettiin rinnakkaisnäytteiden koejaksolla, jonka aikana 28:sta metsätähdehake polttoainekuormasta otettiin standardin SFS-EN 14778 mukaisesti sekä laitoksen normaalin ohjeistuksen mukaisesti kosteusnäytteet. Kosteusnäytteistä analysoiduilla kosteusarvoilla pyrittiin osoittamaan näytteenottomenetelmien välistä eroa. Kaikki näytteet esikäsiteltiin standardin SFS-EN 14780 mukaisesti.</p> <p>Koejaksolta analysoitujen kosteustulosten mukaan standardiin perustuvalla näytteenotolla pienennetään metsätähdehakkeen näytteenoton systemaattista virhettä keskimäärin 3,36 prosenttiyksikköä. Standardimenetelmällä otetut näytteet olivat kosteampia kuin kuljettajien ottamat näytteet. Eroa voidaan pitää merkittävänä, eikä sitä voida selittää ainoastaan otantavirheellä. Koejaksolta saatujen tulosten mukaan standardin mukaisella näytteenotolla parannetaan metsätähdehakkeen näytteenoton luotettavuutta ja alennetaan energiasältöön pohjautuvan polttoainekaupan polttoainekustannuksia lähes seitsemän prosenttiyksikköä.</p>		
Avainsanat (asiasanat) Näytteenotto, metsätähdehake, yksittäisnäyte, kosteusnäyte		
Muut tiedot		

Author(s) Tolvanen, Onni	Type of publication Bachelor's thesis	Date May 2017
		Language of publication: Finnish
	Number of pages 38	Permission for web publication: x
Title of publication The effect of standard SFS-EN 14778 manual sampling on the moisture content of logging residue chips		
Degree programme Degree Programme in Energy Technology		
Supervisor(s) Nuutinen Marjukka, Uusi-Penttilä Pauliina		
Assigned by Prometec Solutions Oy		
<p>Abstract</p> <p>The latest standard on sampling solid biofuels SFS-EN 14778 was set in 2011, undoing the previous European standards. However, sampling the solid biofuels at thermal and power plants often occurs using the already obsolete standards and norm.</p> <p>The purpose of this thesis was to compare two different sampling methods: the sampling method which was performed in accordance with the latest standard and the sampling method which was performed by the fuel suppliers according to the plant's normal procedure. The objective was to determine the magnitude of a systematic error between the moisture samples taken with these sampling methods.</p> <p>The difference in the sampling methods were studied in a test period during which 28 samples were taken from logging residue chips fuel trucks following standard SFS-EN 14778, as well as following the plant's normal procedure. All samples were treated following standard SFS-EN 14780.</p> <p>According to the results obtained in the test period, using the standard sampling reduced by the sampling bias on average 3.36 % units. The difference can be considered significant, and cannot be only explained by a random error. The sampling method used by the fuel suppliers erroneously indicated lower moisture contents.</p> <p>According to the test period, standard sampling method increases sampling reliability and lowers the price of the logging residue chips by almost seven percent.</p>		
Keywords/tags (subjects) Sampling, logging residue chips, increment, moisture analysis sample		
Miscellaneous		

Sisältö

Määritelmät ja lyhenteet	3
1 Johdanto	5
1.1 Tutkimusasetelma	6
2 Standardin mukainen näytteenotto	7
2.1 Standardijärjestelmä	7
2.2 Näytteenoton periaatteet	9
2.3 Yksittäisnäyte	9
2.3.1 Yksittäisnäytteen tilavuus.....	10
2.3.2 Näytteenottoväline.....	10
2.3.3 Yksittäisnäytteiden lukumäärä	11
2.4 Näytteenottomenetelmä, tapa ja paikka	13
3 Näytteenkäsittely: kokoomanäyte, laboratorionäyte ja analyysinäyte.....	15
3.1 Laboratorionäytteen muodostaminen.....	15
3.2 Kosteusnäytteen muodostaminen	17
4 Kosteusmittaus	18
4.1 Uunikuivausmenetelmä	18
4.2 Pikamittausmenetelmä	19
5 Analysoitava polttoaine	20
6 Rinnakkaisnäytteiden koejakso	21
6.1 Näytteenoton toteutus	21
6.2 Tulokset	22
6.3 Erojen syyt	26
7 Standardin mukaisen laadunvalvonnan taloudelliset vaikutukset	27
8 Pohdinta	29
Lähteet	31
Liitteet	33
Liite 1. Yksittäisnäytteiden lukumäärän laskenta	33

Liite 2. Puupolttoaineiden lämpöarvoja	35
Liite 3. Rinnakkaisnäytteiden koejakson tarkat tulokset	37
Liite 4. Polttoaineen tehollinen lämpöarvo saapumistilassa - laskenta	38

Kuviot

kuvio 1. Standardisoinnin maailmankartta	8
Kuvio 2. Näytteenottoon soveltuva näytteenotin sekä kokoomanäyteastia	11
Kuvio 3. Esimerkki, näytteenotto pisteiden sivunäkymä pienessä polttoainekasassa	14
Kuvio 4. Näytteen jakaminen neliöintimenetelmällä.....	16
Kuvio 5. Standardin SFS-EN 14780 vaatimukset täyttävä Inmec Instruments Ltd:n Sample Mill- jauhlin. Jauhlin on varustettu suljetulla ovella ja syöttöluukulla.	17
Kuvio 6. Mikroaaltotekniikkaan perustuva Inmec Instruments Ltd:n BMA-DT – kosteusmittalaite.....	20
Kuvio 7. Kuormakohtaiset kosteusarvot	23
Kuvio 8. Rinnakkaisnäytteiden koejaksolta saatujen tulosten pohjalta laskettu parittaisen kahden riippuvan otoksen T-testin tunnusluvut ja korrelaation havaintokaavio.	24
Kuvio 9. VTT:n ja laitospäätteenoton analyysi metsätähdehakkeella	25
Kuvio 10. Kosteuden vaikutus polttoaineen saapumistilan lämpöarvoon.	28
Kuvio 11. Kuormamäärien ja tarkkuusvaatimuksen suhde yksittäisnäytelukumäärään	34

Taulukot

Taulukko 1. Yksittäisnäytteiden vähimmäislukumäärä.....	12
Taulukko 2. Rinnakkaisnäytteiden koejakson keskihajonta.....	23
Taulukko 3. Puupolttoaineiden lämpöarvoja	36
Taulukko 4. Rinnakkaisnäytteiden koejakson tarkat käsitellyt tulokset.	37

Määritelmät ja lyhenteet

Analyysinäyte

Haluttu näytemäärä, joka on riittävä yhden testin suorittamiseen. Laboratorionäytteen osanäyte. (SFS-EN 14778:2011, 12.)

BMA

Biomass Moisture Analyzer, biomassan kosteusanalysaattori.

CEN

European Committee for Standardization, eurooppalainen standardisoimisjärjestö.

ISO

International Organization for Standardization, kansainvälinen standardisoimisjärjestö.

Kokoomanäyte

Näyteannos, joka saadaan yhdistämällä kaikki kuormakohtaiset yksittäisnäytteet (SFS-EN 14780:2011, 8).

Laboratorionäyte

Kokoomanäytteestä jaettu näytemäärä, joka on riittävän suuri kaikkiin näytteestä tehtäviin testauksiin (näytekoko määräytyy haluttujen testien mukaan) (Puupolttoainneiden laatuohje... 2014. 12).

Neliöinti

Menetelmä, jolla näyte jaetaan (SFS-EN 14780:2011, 24).

Nimellisesti suurin pala/raekoko

CEN-standardeissa kiinteiden biopolttoaineiden pala/raekoon määrittämiseen käytetty seulan aukkokoko, jonka läpi pääsee vähintään 95 massa-% kokonaismateriaalista (SFS-EN 14778:2011, 12).

Näyte

Näytteellä tarkoitetaan suuremmasta osasta irrotettua edustavaa ainemäärää (SFS-EN 14780:2011, 10).

Näytteen jako

Näytteen massan pienentämistä haluttuun kokoon, samalla kun näytteen laadulliset ominaisuudet pysyvät ennallaan (SFS-EN 14780:2011, 10).

Osanäyte

Määrittelemätön näytteen osa (SFS-EN 14780:2011, 10).

Pieni varastokasa

Varastokasa, jonka massa on pienempi kuin 40 tonnia (SFS-EN 14778:2011, 12).

SFS

Suomen standardisoimisliitto SFS ry.

Standardi

Yleisesti hyväksytty toimintamalli (Standardi on yhteinen ratkaisu... n.d.)

Vakiomassa

Polttoaineen vakiomassa saavutetaan, kun analyysinäytteen massan muutos ei ylitä 0,2 %:a, 60 minuutin pituisessa uunikuivausjaksossa (105 ± 2 °C) (SFS-EN ISO 18134-2:2017, 7).

Yksittäisnäyte

Näyteannos, joka saadaan, kun kuormasta otetaan näytteenottimella yksi annos näytettä (SFS-EN 14778:2011, 12).

1 Johdanto

Näytteenotto on polttoaineen laadunvalvonnan ketjussa eniten virhettä aiheuttava vaihe sekä tärkein yksittäinen laadunvalvonnan osa-alue. Kiinteiden biopolttoaineiden näytteenottostandardi vahvistettiin 2011, mutta useat Suomen lämpö- ja voimalaitokset käyttävät edelleen näytteenotossa vanhentuneita standardeja ja ohjeita.

Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää kiinteiden biopolttoaineiden standardin SFS-EN 14778 mukaisen näytteenoton vaikutusta metsätähdehакkeen kosteusanalyysiin. Standardin mukaista näytteenottoa vertailtiin laitoksen normaalin toimintatavan mukaiseen polttoainetoimittajien suorittamaan näytteenottoon. Työssä selvitettiin näytteenottomenetelmästä johtuvaa systemaattisen virheen suuruutta analysoituun kosteusarvoon.

Näytteenottomenetelmiä vertailtiin rinnakkaisnäytteiden koejaksolla otettujen kosteusnäytteiden perusteella. Koejaksolla tutkittavana polttoaineena oli metsätähdehake. Metsätähdehake on varsinaisen ainespuun hakkuusta ja harvennuksesta tähteksi jäävää metsäainesta. Metsätähdehake on laadullisilta ominaisuuksiltaan vaihteleva polttoainelaji, joten laadukkaan näytteenoton merkitys kasvaa entisestään.

Polttoaineen sisältämän kosteuden tarkka selvitys luo pohjan voimalaitosten prosessin katkeamattomalle ja tehokkaalle toiminnalle sekä polttoainekaupalle, sillä lähes kaikki Suomen voimalaitokset käyvät polttoainekauppaa polttoaineen energiasisällön perusteella. Mitä kosteampaa polttoaine on, sitä vähemmän laitos maksaa polttoaineesta. Tämän takia polttoaineen kosteuden tarkka selvitys on myös voimalaitosten taloudenpidon kannalta tärkeä vaihe.

Työn tietoperusta koostuu pääasiassa kiinteiden biopolttoaineiden standardeista ja standardien pohjalta käytäntöön tehdyistä soveltamisohjeista sekä alan keskeisten toimijoiden julkaisemista tutkimuksista.

Opinnäytetyön toimeksiantajana on biomassojen laadunvalvontaan erikoistunut asiantuntija- ja teknologiayritys Prometec Solutions Oy, jonka toimintaan kiinteänä osana kuuluu kokonaisvaltainen biopolttoaineiden laaduntarkkailukonsepti. Työn tuloksia on tarkoitus käyttää laadunvalvonnan jatkuvaan kehittämiseen.

1.1 Tutkimusasetelma

Tutkimusongelma

Opinnäytetyö edustaa tieteellistä työtä. Tieteellisen työn luonne vaatii tutkimusongelman, koska ilman tutkimusongelmaa ei ole mitään tieteellisesti tutkittavaa. (Kananen 2015a, 45.) Tutkimusongelma kannattaa muuttaa tutkimuskysymyksiä, sillä kysymyksiä on usein helpompi käsitellä ja kysymyksiin vastaaminen auttaa tutkimusongelman ratkaisussa. (Kananen 2015b, 24.) Tutkimusongelmasta muodostetut tutkimuskysymykset muodostuivat seuraavasti:

- Kuinka suureksi näytteenottomenetelmien välinen kosteusero muodostuu?
- Mitkä tekijät aiheuttavat menetelmien välistä eroa?
- Millaisia vaikutuksia kosteusero luo?

Tutkimusote

Opinnäytetyön tutkimusongelman ratkaisemiseksi käytetään triangulaatio tutkimusmenetelmää eli kvalitatiivisen ja kvantitatiivisen tutkimusotteen eräänlaista yhdistelmää. Työn tutkimusotteen painoarvo on kuitenkin selvästi kvantitatiivisen eli määrällisen tutkimuksen puolella. Opinnäytetyön aineiston analyysimenetelminä käytetään tyypillisiä määrällisen tutkimuksen tilastollisia analyysimenetelmiä, kuten T-Testiä sekä korrelaatio havaintokaavioita (Kananen 2015a, 89). Osa aineistosta on havainnoitua tietoa, jonka analysointi ei onnistu ainoastaan tilastomenetelmillä. Havainnoitu tieto vaatii kvalitatiivisen eli laadullisen tutkimuksen analyysi menetelmiä, kuten dokumentaatioiden kirjallista analyysiä (Kananen 2015a, 83).

Laadullinen eli kvalitatiivinen tutkimus pyrkii ymmärtämään ilmiötä ja vastaamaan kysymykseen ”mistä tässä on kyse”. Kvalitatiivinen tutkimus ei tavoittele ongelman ratkaisua käytännössä vaan pyrkii rakentamaan ilmiöstä ymmärrystä ja teoriaa. (Kananen 2015b, 34, 35.)

Määrällinen eli kvantitatiivinen tutkimus edellyttää ilmiön tuntemusta ja käsittelee lukujen ja muuttujien mittaamista sekä näiden välistä vuorovaikutuksien laskemista

(Kananen 2011, 12,). Määrällisen tutkimuksen taustalla on usein tutkijan halu testata teoriaa tai mallia käytännössä (Kananen 2011, 23,).

Aiheen rajaus

Opinnäytetyössä analysoidaan polttoaineen kosteuspitoisuutta. Aiheen ulkopuolelle jää muut polttoaineominaisuuksien määritykset kuten palakokojakauma, tuhkapitoisuus ja kemialliset ominaisuudet kuten rikki, typpi ja lämpöarvo. Laadunvalvonta on kokonaisuus, johon kuuluu useita vaiheita. Polttoaineena on ainoastaan metsätähdehake, muut polttoaineet on rajattu aiheen ulkopuolelle. Näin työ pysyy hallittavana kokonaisuutena. Työssä ei oteta kantaa yleistä tasoa syvemmin, mitä polttoaineelle on tapahtunut ennen kuin se saapuu laitokselle ja missä näytteenotto tapahtuu. Työssä ei siis perehdytä polttoaineen varastointiin, korjuu- tai haketustekniikkaan.

2 Standardin mukainen näytteenotto

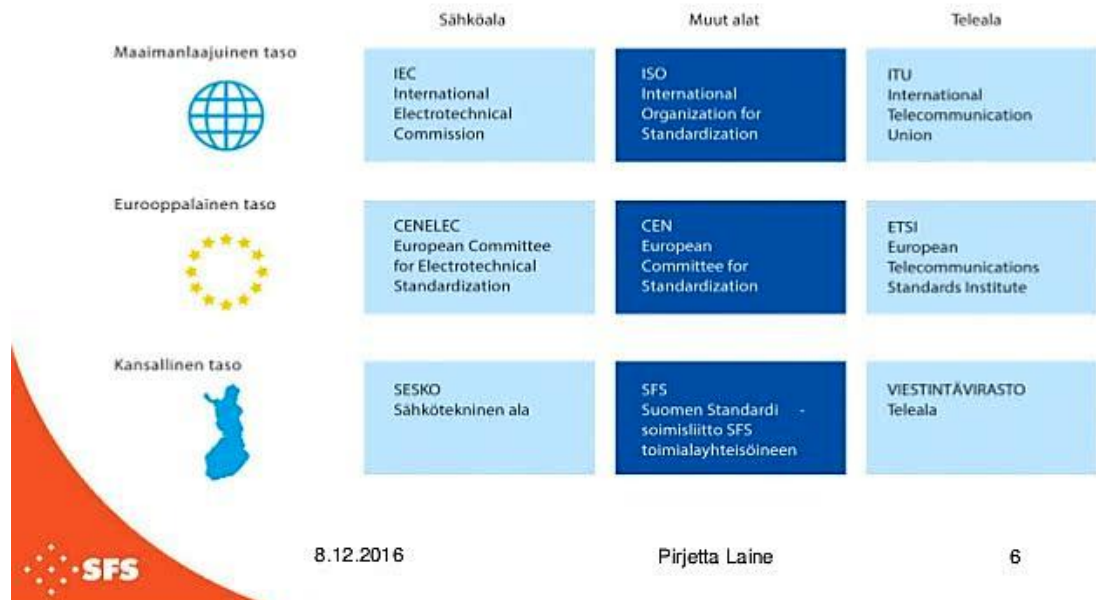
2.1 Standardijärjestelmä

Standardilla tarkoitetaan alasta riippumatta yleisesti hyväksyttyä toimintatapaa tai periaatetta. Standardit eivät ole lakeja ja niiden käyttö on ainakin periaatteessa vapaaehtoista. Joissain tapauksissa viranomaiset saattavat edellyttää niiden käyttöä tai standardiin viitataan laissa, jolloin sitä tulee noudattaa kuten lakia. Usein onkin yksinkertaisinta valmistaa tuote standardin mukaiseksi, jolloin voidaan luottaa tuotteen pääsemiseen markkinoille. Standardit ovat eräänlainen tae toiminnan kokonaisvaltaisesta laadusta. Standardien tarkoitus onkin osaltaan edistää kauppaa sekä suojella luontoa ja kuluttajia. (Mitä standardisointi on? N.d).

Suomessa kansalliset standardit laativat, vahvistaa ja julkaisee Suomen standardisointiliitto SFS ry. Kuitenkin varsinainen standardisointi jää pääosin SFS:n toimialayhteisölle, johon kuuluu oman alansa kattojärjestöjä ja virastoja. Nykyään valtaosa kansallisista standardeista pohjautuu kansainvälisiin ISO- ja eurooppalaisiin CEN-

standardeihin. (Standardi on yhteinen ratkaisu... N.d). Kuviossa 1 on kuvattu kansallisen, eurooppalaisen ja maailmanlaajuisen standardisoinnin vastuun jakoa.

Standardisoinnin maailmankartta



kuvio 1. Standardisoinnin maailmankartta (Laine 2016, 6)

Standardin etuliitteen nimeämistavasta voi päätellä missä kaikissa järjestöissä standardit on vahvistettu. Esimerkiksi standardin SFS-EN 14778 etuliite kertoo sen olevan eurooppalainen standardi, joka on vahvistettu Suomessa kansalliseksi standardiksi (SFS-EN 14778: 2011, 1) eli kyseinen standardi on voimassa Euroopan alueella. Standardit pyrkivät sisältämään aina viimeisimmät hyväksi havaitut toimintatavat ja tekniset ratkaisut. Tämän takia standardien kehittäminen sekä ylläpito on jatkuvatoimista, päättymätöntä työtä (Standardi on yhteinen ratkaisu... N.d).

2.2 Näytteenoton periaatteet

Kiinteiden biopolttoaineiden näytteenottoa määrittelee Suomessa standardi SFS-EN 14778. Standardin pohjalta on laadittu Suomen käytännön oloihin pohjautuvia näytteenottostandardin soveltamisohjeita ja laatuohjeita.

Näytteenotolla tarkoitetaan analysoitavaksi soveltuvan osan irrottamista suuremmasta osasta siten, että polttoaineen ominaisuudet eivät muutu. Näytteenotto luo pohjan laadunvalvonnalle ja näytteen laadullisten ominaisuuksien analysoimiselle. Laadukas näytteenotto ei itsessään muuta polttoaineen ominaisuuksia vaan mahdollistaa haluttujen ominaisuuksien tarkan selvittämisen. (Puupolttoaineiden laatuohje... 2014, 28.)

Standardin mukaisen näytteenoton periaatteisiin kuuluu, että polttoainekuorman laadusta tai suuruudesta riippumatta tulee kuormasta otetun näytteen olla edustava eli jokaisella kuormassa olevalla partikkelilla tulee olla yhtä suuri mahdollisuus päätyä näytteeseen eivätkä näytteestä mitattavat laadulliset ominaisuudet saa muuttua näytteenoton tai käsittelyn aikana (SFS-EN 14778:2011, 14). Lisäksi näytteenotto tulisi suorittaa samalla menetelmällä jokaisesta kuormasta. Tämä parantaa näytteiden verrattavuutta eri kuormien välillä ja mahdollistaa näytteenoton sekä polttoaineen laadun kehittämisen.

2.3 Yksittäisnäyte

Yksittäisnäyte on kuormasta näytteenottimella otettu yksi näyte. Polttoainekuormasta yksittäisnäytteitä otetaan useita, jolloin näytteenoton virhe minimoidaan. Yksittäisnäytteiden lukumäärä riippuu kuorman suuruudesta siten, että käytännössä suuremmasta kuormasta otetaan useampi yksittäisnäyte. Yksittäisnäytteistä muodostetaan kuormakohtainen kokoomanäyte.

2.3.1 Yksittäisnäytteen tilavuus

Yksittäisnäytteen vähimmäistilavuuteen vaikuttaa kuorman nimellinen palakoko. Palakokojakauma määritetään täryseulamenetelmällä (oskilloiva tai värähtelevä) standardin SFS-EN ISO 17827-1 mukaan. Varsinainen yksittäisnäytteen vähimmäistilavuus lasketaan kaavalla 1.

$$L_{\text{yksittäisnäyte}} = 0,5 \quad \text{Kun } d_{95} < 10 \quad (1)$$

$$L_{\text{yksittäisnäyte}} = 0,05 * d_{95} \quad \text{kun } d_{95} \geq 10$$

missä

$L_{\text{yksittäisnäyte}}$ = yksittäisnäytteen pienin tilavuus, litraa

d_{95} = nimellisesti suurin pala/raekoko, mm

Jos polttoainekuorman suurin nimellinen palakoko on 50 mm, yksittäisnäytteen tilavuuden tulee olla vähintään 2,5 litraa. Suomen olosuhteissa on kuitenkin perusteltua käyttää yksittäisnäytteen tilavuutena vähintään 3:a litraa. (Puupolttoaineiden laatuohje... 2014, 34.)

2.3.2 Näytteenottoväline

Jotta yksittäisnäytteen haluttu tilavuus toteutuisi, täytyy näytteenottovälineen olla kyseiselle polttoaineelle soveltuva. Tämä tarkoittaa, että näytteenottovälineen kauhan suuaukon läpimitan tulee olla vähintään 2,5 kertaa polttoaineen nimellisesti suurin palakoko. Näytteenottokauhaan tulee myös mahtua vähintään luvussa 2.3.1 mukaisesti näytteen minimitilavuuden verran polttoainetta. Näytteenottovälineenä tulisi käyttää pitkävartista näytteenottokauhaa, jolloin näyte on mahdollista ottaa turvallisesti halutusta kohtaa polttoainekuormaa (Puupolttoaineiden laatuohje... 2014, 31). Näytteenottimen tulisi olla kevyttä sekä kestävää materiaalia. Kuviossa 2 on esi-

tettynä näytteenotin, joka mahdollistaa määrällisesti riittävän yksittäisnäytteen halutusta kohtaa kuormaa. Kuviossa on kuvattu myös tyypillinen astia, johon yksittäisnäytteet kootaan. Näin muodostuu kokoomanäyte.



Kuvio 2. Näytteenottoon soveltuva näytteenotin sekä kokoomanäyteastia

2.3.3 Yksittäisnäytteiden lukumäärä

Yksittäisnäytteitä tulee ottaa kuormasta niin monta, että kokoomanäyte on koko kuormaa edustava. Yksittäisnäytteiden lukumäärään vaikuttaa kuitenkin moni asia. Näytteenotossa on aina mukana systemaattista sekä satunnaista virhettä, jota ei

voida millään menetelmällä täysin poistaa. Edustava näytteenotto tarkoittaakin oikeastaan systemaattisen ja satunnaisen virheen pienentämistä (Puupolttoaineiden laatuohje... 2014, 28). Yksittäisnäytteiden lukumäärään vaikuttavia tekijöitä ovat polttoainekuormien lukumäärä, yksittäisen kuorman kosteuden hajonta sekä haluttu näytteenoton tarkkuusvaatimus. Mitä suurempi kuorman kosteushajonta on, niin sitä enemmän täytyy yksittäisnäytteitä ottaa, jotta päästäisiin yhtä pieneen tarkkuusvaatimukseen, kuin tasalaatuisemmilla pienemmän kosteuden hajonnan omaavilla polttoaineilla. Epätasalaatuisten polttoaineiden kuten metsätähdehakkeen kosteuden hajonta on tyypillisesti suuri. Tämä siis lisää laskennallista yksittäisnäytteiden lukumäärää, jos halutaan päästä hyvään noin ± 3 prosenttiyksikön tarkkuuteen.

Tarkkaa laskelmaa yksittäisnäytteiden lukumäärästä ei käytännön syistä ole järkevää tehdä (tarkka laskelma on kuitenkin liitteessä 1). Tilalla voidaan noudattaa taulukon 1 mukaisia yksittäisnäytelukumääriä, joilla tulisi päästä hyvään noin ± 3 prosenttiyksikön tarkkuuteen. Polttoainekuormien lukumäärän noustessa viiteen, tarkkuus on jo lähellä ± 2 prosenttiyksikköä. (Puupolttoaineiden laatuohje... 2014, 33-34.)

Taulukko 1. Yksittäisnäytteiden vähimmäislukumäärä (Puupolttoaineiden laatuohje... 2014, 34)

KUORMAN KOKO	YKSITTÄISNÄYTTEIDEN LUKUMÄÄRÄ
50 I-M ³	Vähintään 2
KUORMA-AUTO (NUPPI)	Vähintään 2
PUOLIPERÄVAUNU (<100 M ³)	Vähintään 4
YHDISTELMÄ (100 – 160 M ³)	Vähintään 6 (2 nupista + 4 perästä)
KONTTIYHDISTELMÄ	Vähintään 2 näytettä/kontti

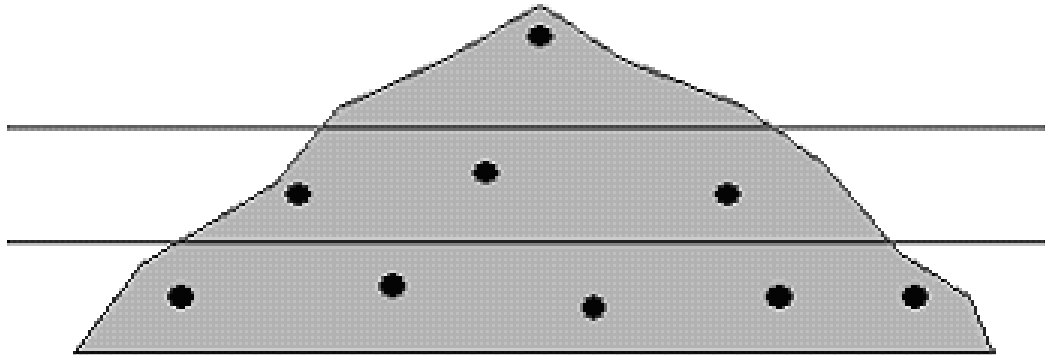
2.4 Näytteenottomenetelmä, tapa ja paikka

Metsätähdehake on verrattain epätasalaatuinen polttoaine, joten näytteenottomenetelmän vaikutus polttoaineen laadullisiin ominaisuuksiin kasvaa. Näytteenotto tulisi suorittaa turvallisinta tapaa käyttäen, näytteenottoon soveltuvaa näytteenottovälinettä käyttäen ja luvun 2.3.3 yksittäisnäytelukummäärien mukaan polttoaineen purkuvaiheessa putoavasta virrasta tai välittömästi sen jälkeen. Edustava näytteenotto on kuitenkin luotettavinta toteuttaa, kun näyte otetaan putoavasta polttoainevirrasta (Puupolttoaineiden laatuohje... 2014, 28). Suomessa metsähakkeet kuljetetaan lämpö- ja voimalaitoksille pääsääntöisesti peräpurku ketjupurulla varustetuilla täysperävaunu ajoneuvoyhdistelmillä (Föhr, Karttunen, Korpilahti, Palojärvi & Ranta 2010, 7, 8).

Puupolttoaineet lajittelevat kuljetuksen sekä purun aikana lähes poikkeuksetta. Lajittumisella tarkoitetaan tiettyntyyppisen materiaalin hakeutumista tiettyyn osaan kuormaa. Myös kuorman sisäisen kosteuden vaihtelu on metsähakkeilla verrattain suurta. Tästä syystä yksittäisnäytteet täytyy ottaa kuormasta tasaisesti koko kuorman korkeudelta ja leveydeltä. Yhä useammalla laitoksella näytteenotto tapahtuu erillisestä näytteenottohuoneesta, jolloin näytteenotto voidaan suorittaa turvallisesti eikä polttoainepölylle tarvitse altistua. Jos kuorma tyhjennetään siten, ettei näytettä ole mahdollista ottaa turvallisesti putoavasta virrasta, tulee näyte ottaa välittömästi kuorman tyhjentämisen jälkeen paikallaan olevasta kasasta, ennen kuin kuorma ajetaan suurempaan varastokasaan. (Puupolttoaineiden laatuohje... 2014, 29.)

Lämpö- ja voimalaitoksille saapuvat polttoainekuormat saatetaan purkaa myös suoraan polttoainekentälle, josta se ajetaan suurempaan polttoainevarastoon. Tällaisissa tilanteissa ei aina ole mahdollista ottaa näytettä putoavasta polttoainevirrasta, vaan yksittäisnäytteet kerätään paikallaan olevasta kasasta. Näyte tulee ottaa välittömästi kuorman tyhjentämisen jälkeen, ennen kuin kuorma ajetaan suurempaan varastoon. Lajittumisen takia näytteenotto vaatii erityistä tarkkuutta, jotta näytteet olisivat

edustavia. (Puupolttoaineiden laatuohje... 2014, 29). Kuviossa 3 on esitetty mahdolliset näytteenottopisteet pienestä polttoainekasasta.



Kuvio 3. Esimerkki, näytteenotto pisteiden sivunäkymä pienessä polttoainekasassa (SFS-EN 14778:2011, 46)

Kun näyte otetaan paikallaan olevasta kasasta, hyvä tapa varmistua näytteen edustavuudesta on jakaa polttoainekasa visuaalisesti kolmeen osaan korkeuden mukaan ja ottaa näytteitä jokaisesta osasta yhtä monta suhteuttaen kerroksen tilavuuteen (SFS-EN 14778:2011, 44, 46). Näytteitä ei tulisi ottaa aivan kasan päädyistä, päältä, pohjalta tai reunoilta. Koska pintakerroksia tulee välttää, on kasaa hieman kaivettava edustavan näytteen saamiseksi. Paikallaan olevista polttoainekasoista näytteenoton ongelmana onkin näytteen saanti kasan keskeltä. (Puupolttoaineiden laatuohje... 2014, 32.)

Näytteenottaja ei näytteenoton aikana saa mitenkään valikoida polttoainetta. Jos yksittäisnäytteeseen tulee epäpuhtauksia kuten maa-ainesta, roskia tai suuria partikkeleja itse polttoainetta, kuuluu yksittäisnäyte siitä huolimatta osaksi kokoomanäytettä. Todennäköisesti kuormassa on enemmänkin näitä epäpuhtauksia, ja näin ollen edustavaan näytteeseen kuuluu myös kuorman epäpuhtaudet. (Puupolttoaineiden laatuohje... 2014, 14-15.) Kuitenkin suurista kuormaan kuulumattomista partikkeleista, erityisesti palamattomista, tulee ilmoittaa asiasta vastaavalle.

3 Näytteenkäsittely: kokoomanäyte, laboratorionäyte ja analyysinäyte

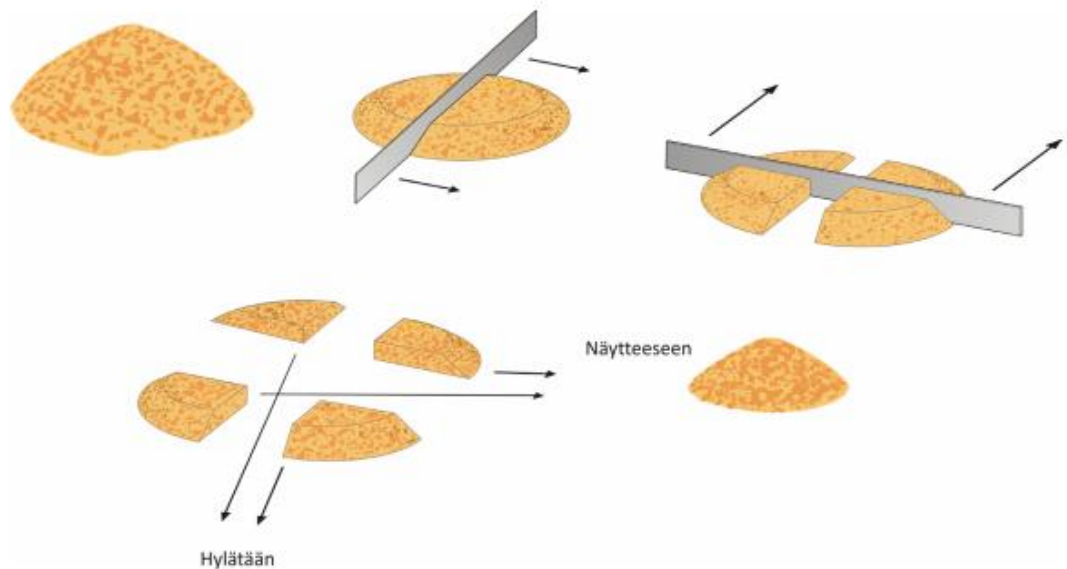
Kokoomanäyte muodostetaan yhdistämällä kuormakohtaiset yksittäisnäytteet. Näin kokoomanäyte on kuormaa edustava näyte. Kokoomanäytteen tilavuus on kuitenkin liian suuri laboratorioanalyysiä varten. Tämän takia kokoomanäytteestä on valmistettava laboratorionäyte. Laboratorionäyte jaetaan pienemmäksi analyysinäytteeksi vastaamaan näytteelle tehtävän analyysin vaatimuksia. Analyysinäyte on näyte, josta varsinainen analyysi suoritetaan. (Puupolttoaineiden laatuohje... 2014, 35-38.)

3.1 Laboratorionäytteen muodostaminen

Laboratorionäyte muodostetaan kokoomanäytteestä sekoittamalla ja jakamalla. Yhdestä kokoomanäytteestä voidaan muodostaa useampi laboratorionäyte. Laboratorionäytteen tilavuus määräytyy sille tehtävistä analyyseistä. Polttoaineen kosteuden selvittämiseksi tarvitaan standardin SFS-EN ISO 18134-2 mukaan vähintään 300 grammaa kosteaa polttoainetta, mikä tarkoittaa metsäpolttoaineella vähintään 2 litraa näytettä. Käytännössä tämä vaatimus on hyvä vähintään tuplata, jotta tarvittava määrä materiaalia päätyy analysoitavaksi. Jos samasta laboratorionäytteestä halutaan tehdä myös muita polttoaineanalyysejä, täytyy myös laboratorionäytteen kokoa kasvattaa (Puupolttoaineiden laatuohje... 2014, 35-38; SFS-EN ISO 18134-2:2017, 6.)

Kokoomanäyte jaetaan kuvion 4 mukaan. Kokoomanäyte kaadetaan vauhdikkaalla liikkeellä neliöintipöydälle ja sekoitetaan kartionmuotoiseksi kasaksi. Tämän jälkeen näyte jaetaan neljään yhtä suureen osaan ja vastakkaiset osat poistetaan. Sekoitus ja neliöinti suoritetaan uudelleen, mikäli näytettä on runsaasti jäljellä. Lopulta haluttu

määrä näytettä otetaan laboratorionäytteeksi. (Puupolttoaineiden laatuohje... 2014, 37-38.)



Kuvio 4. Näytteen jakaminen neliöintimenetelmällä (Puupolttoaineiden laatuohje 2014, 38.)

Kun näyte jaetaan manuaalisesti neliöintimenetelmällä, täytyy jakajan kiinnittää erityistä huomiota kosteiden ja epätasalaatuisten polttoaineiden jakamiseen. Pienet ja kosteat partikkelit jäävät helposti neliöintipöydän pintaan kiinni, eivätkä päädy näytteeseen, jos näytettä ei jaeta neliöintilapio pöydän pinnassa kiinni. Laboratorionäytteet tulee jakaa välittömästi, kun kuormakohtainen kokoomanäyte on muodostettu. Näin laadunvalvonta pysyy katkeamattomana. Laboratorionäytteet suljetaan ilmatii-
viiseen säiliöön tai pakkaukseen. Kosteutta haihtuu merkittävästi näytteistä huoneil-
massa jo muutamassa minuutissa. (Puupolttoaineiden laatuohje... 2014, 37-38; SFS-
EN ISO 18134-1:2015, 6.)

3.2 Kosteusnäytteen muodostaminen

Kosteusnäyte muodostetaan laboratorionäytteestä. Näytteelle tulee suorittaa karkeajauhaminen jos se sisältää partikkeleita jotka eivät mene 31,5 mm seulan läpi. Tästä syystä useille metsäpolttoaineille, kuten hakkeille, suoritetaan karkeajauhaminen tai murskaus. Jauhimesta ei saa välittyä lämpöä tai ilmavirtaa polttoaineeseen, eikä myöskään jauhannan aikana irtoava pöly saa päästä jauhimesta pois. Pääsääntö onkin, etteivät polttoaineen analysoitavat ominaisuudet saa muuttua käsittelyn aikana. Jos näytteestä analysoidaan kosteutta, ei jauhannan aikana materiaalin kosteus saa muuttua. Jauhimen/murskaimen tulee olla myös helposti puhdistettava. (SFS-EN 14780:2011, 16.) Kuviossa 5 on Inmec Instruments Ltd:n Sample Mill -jauhin.



Kuvio 5. Standardin SFS-EN 14780 vaatimukset täyttävä Inmec Instruments Ltd:n Sample Mill - jauhin. Jauhin on varustettu suljetulla ovella ja syöttöluukulla.

Kun näyte on jauhettu riittävään kokoon, tulee määrä pienentää analyysiin soveltuvaksi. Näytemäärän pienentämiseen voidaan käyttää neliöintimenetelmää. Analyysiin tarvittava polttoainemäärä riippuu polttoaineelle tehtävästä analyysistä. Kosteusnäytteen massan tulee olla vähintään 300 grammaa. Analysointi on mahdollista suorittaa myös pienemmällä näytemäärällä. Tämä vaatii kuitenkin myös tarkemman mittauslaitteiston. (SFS-EN ISO 18134-2:2017, 6.)

4 Kosteusmittaus

4.1 Uunikuivausmenetelmä

Kiinteiden biopolttoaineiden standardi SFS-EN ISO 18134-2 käsittelee kosteuden määrittystä yksinkertaistetulla uunikuivausmenetelmällä. Uunikuivausmenetelmässä kosteusnäyte asetetaan kuivausuuniin ja sitä pidetään uunissa, kunnes kosteusnäyte on saavuttanut vakiomassan. Kosteusnäyte punnitaan ennen ja jälkeen uunikuivauksen. Punnitusten massanerotuksesta voidaan laskea näytteen kosteuspitoisuus. (SFS-EN ISO 18134-2:2017, 5-6.)

Kosteusnäyteastian tulee olla lämmön ja syöpymisen kestävä ja pinnoitteelta tasainen ja puhdas. Tasapintaisuus heikentää kosteuden tiivistymistä astian pintaan. Näytteen tulee mahtua tasaisesti näyteastiaan noin 1 g näytettä/ 1 cm². Tämä tarkoittaa, että 300 gramman kosteusnäytteelle näyteastian sivun pituuden tulee olla vähintään 17,3 cm, jotta näyte kuivuisi kauttaaltaan uunikuivauksen aikana. (SFS-EN ISO 18134-2:2017, 6.)

Kuivausuunin lämpötilan tulee olla 105 ± 2 °C. Kosteusnäytteiden sisältämä vesi ei saa kondensoitua näyteastioiden pintaan eikä myöskään siirtyä toisiin näytteisiin, jos uunissa kuivataan useita näytteitä samanaikaisesti. Tämän takia kuivausuunin sisäilman tulee vaihtua. Oikea ilmanvaihtumisen määrä on kolmesta viiteen kertaan tunnissa. Näytteen kuivausaika riippuu näytteen partikkelikoosta, näytekerroksen tiheydestä ja

kuivausuunin ilmanvaihdosta. Standardin SFS-EN ISO 18134-2 mukaan näyte on ollut kuivausuunissa riittävän kauan, kun saavutetaan näytteen vakiomassa. Vakiomassa on saavutettu, kun näytteen massan muutos ei ylitä 0,2 %:a, 60 minuutin pituisessa uunikuivausjaksossa. Kuivausaika ei saa kuitenkaan ylittää 24:ää tuntia, jotta vältetään haihtuvien aineiden häviö. Kun vakiomassaan vaadittava kuivausaika on selvitetty, voidaan saatua aikaa käyttää jatkossa kuivausaikana kyseiselle polttoaineelle. Käytännössä polttoaineesta riippumatta kuivausaika on 16-22 tuntia. (SFS-EN ISO 18134-2:2017, 6.)

4.2 Pikamittausmenetelmä

Polttoaineen kosteus voidaan määrittää myös muilla mittausmenetelmillä. Tällöin ehtona on, että käytetyn mittausmenetelmän vastaavuus standardimenetelmiin verrattuna täytyy osoittaa (Puupolttoaineiden laatuohje... 2014, 6). Uunikuivausmenetelmän rinnalla voidaan käyttää pikamittalaitetta, jolla voidaan analysoida näytteen kosteus lähes välittömästi. Tämä mahdollistaa polttoaineen kosteuden reaaliaikaisen seurannan.

Eräs pikamittausmenetelmä on mikroaalto kosteusmittaus, joka perustuu mikroaaltojen etenemisnopeuden, vaimenemisen, vaihesiirron, resonanssitaajuuden tai näiden yhdistelmän mittaukseen. Mittauksessa hyödynnetään aineen permittiivisyyttä, joka vedellä on noin 30-kertaisesti suurempi kuin puulla. Mittaustekniikassa anturi lähettää mikroaallon mitattavaan polttoaineeseen joka heijastuu joko polttoaineesta tai heijastinlevystä takaisin mikroaallon vastaanottoon. Mitä suurempi materiaalin permittiivisyys on eli mitä enemmän materiaali sisältää vettä, sitä nopeammin mikroaalto etenee. Mitattava polttoaine ei saa sisältää jäätä, sillä jään ja puun permittiivisyys on lähellä toisiaan. (Kanko 2010, 21-22.) Mikroaaltomittalaite mahdollistaa välittömän ja tarkan biomassojen kosteusmittauksen, mutta vaatii jatkuvaa polttoainekohtaista kalibrointia. Kalibrointi tulee suorittaa uunikuivausmenetelmällä (Puupolttoaineiden laatuohje... 2014, 22). Kuviossa 6 esitetty Inmec Instruments Ltd:n BMA-DT mikroaaltotekniikkaan perustuva kosteusmittalaite



Kuvio 6. Mikroaaltotekniikkaan perustuva Inmec Instruments Ltd:n BMA-DT – kosteusmittalaite (BMA – Desktop Moisture Analyzator n.d.)

5 Analysoitava polttoaine

Rinnakkaisnäytteiden koejaksolla analysoitavana polttoaineena oli metsätähdehake. Metsätähdehakkeella tarkoitetaan muuksi ainespuuksi kelpaamatonta metsäainesta eli varsinaisen ainespuun hakkuusta ja harvennuksesta tähteeksi jäävästä aineksesta kuten hukkarunkopuusta, latvusmassasta, oksista sekä kuoresta tehtyä haketta. Metsätähdehakkeen sisältämä kosteus vaihtelee riippuen sen mukaan missä suhteessa kuorma sisältää eri metsätähdelajeja, kuten hukkarunkoa tai oksia. Lisäksi kuorman kosteuteen vaikuttavat muun muassa polttoaineen kuivaus, korjuuaika, puulaji ja

korjuupaikka. Metsätähdehake onkin epätasalaatuinen polttoaine, jonka ominaisuuksiin kuuluu suuret kuorman sisäisen kosteuden hajonnat. (Ikonen, Jahkonen, Pasanen & Tahvanainen 2013, 14-17.)

Vaikka puupolttoaineiden saapumistilan kosteus onkin usean tekijän summa, on puupolttoaineiden kuiva-aineen lämpöarvo lähes sama riippumatta polttoainelajikkeesta (ks. liite 2). Puupolttoaineiden saapumistilan energiasisältö muuttuukin juuri kosteuden muutoksen mukaisesti. Puuperäisten polttoaineiden polton kannalta merkittävään asemaan nouseekin polttoaineen sisältämä kosteus, joka rajoittaa etenkin pienen kokoluokan lämpö- ja voimalaitosten toimintaa. (Ikonen ym. 2013, 14-17.)

6 Rinnakkaisnäytteiden koejakso

6.1 Näytteenoton toteutus

Rinnakkaisnäytteiden koejakson tarkoituksena oli selvittää näytteenottomenetelmien vaikutusta polttoaineen kosteusarvoon. Lisäksi menetelmien välisiä eroja havainnoitiin koejakson aikana. Testissä vertailtavana oli laitoksen normaalin toimintatavan mukainen polttoainetoimittajien näytteenotto ja standardin SFS-EN 14778 mukaisella menetelmällä suoritettu näytteenotto.

Useilla laitoksilla polttoaineen näytteenotosta vastaa polttoainekuorman kuljettaja, samalla kun hän purkaa kuormaa laitoksella. Kuljettajien ohjeistus näytteenotosta ei useinkaan vastaa uusimpien standardien mukaista tai käytäntöön tehtyjen standardin soveltamisohjeiden mukaista näytteenottomenetelmää.

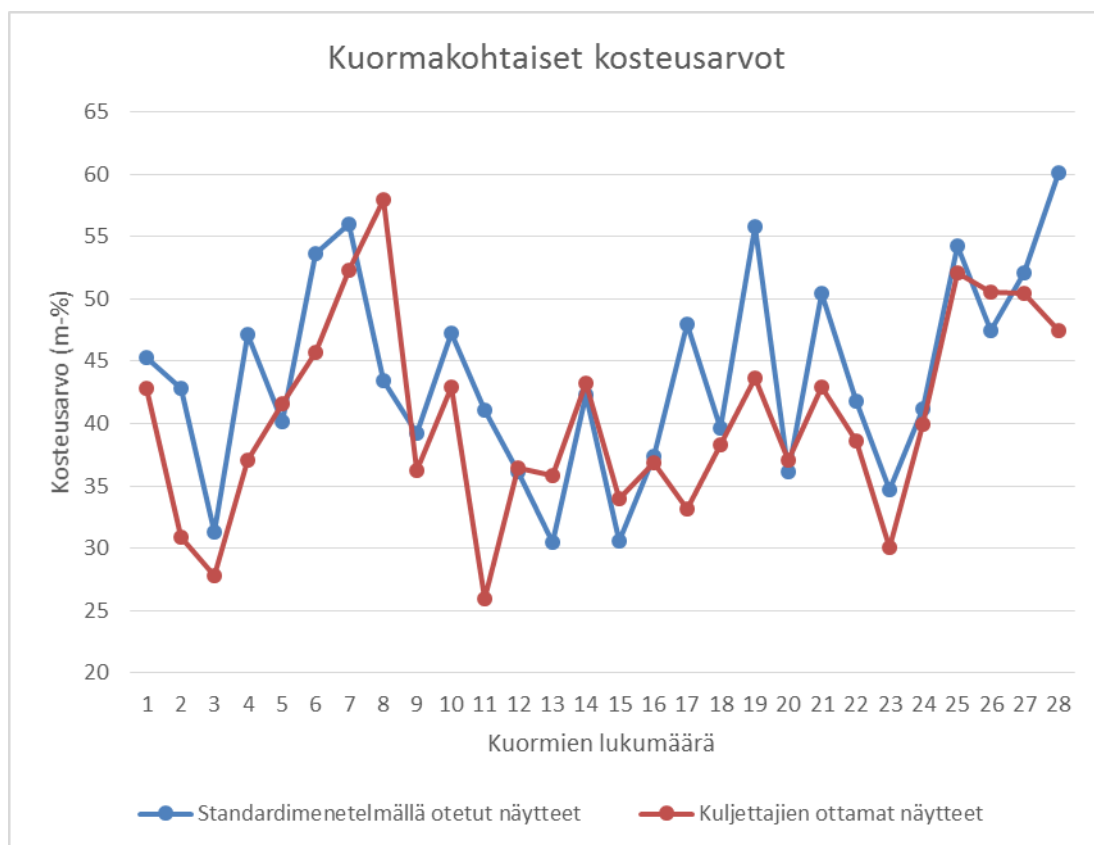
Näytteenotto on polttoaineen kosteudenmääritysketjussa eniten virhettä aiheuttava vaihe. Molemmat rinnakkaisnäytteiden koejaksolla mukana olleet näytteenottomenetelmät aiheuttavat virhettä, eikä kummallakaan päästä absoluuttiseen totuuteen polttoaineen kosteudesta. Oletuksena kuitenkin oli, että standardin mukaisella näytteenottomenetelmällä näytteenoton virhe pienenee.

Rinnakkaisnäytteiden koejaksolla oli mukana 28 metsätähdehake polttoainekuormaa. Käsiteltäviä näytteitä oli yhteensä 56 kappaletta. Kaikista kuormista otettiin kaksi näytettä, toisen näytteen otti polttoainekuorman kuljettaja laitoksen normaalin toimintatavan mukaisesti ja toinen näyte otettiin standardimenetelmän mukaisesti. Molemmat näytteet otettiin samaan aikaan, kuorman tyhjentyessä putoavasta polttoainevirrasta tai välittömästi tyhjennyksen jälkeen paikallaan olevasta kasasta. Kaikkien näytteiden esikäsittely ja kosteuspitoisuuden määrittäminen suoritettiin identtisesti standardien SFS-EN 14780 ja SFS-EN ISO 18134-2 mukaisesti. Näytteet erosivat toisistaan siis pelkästään näytteenottomenetelmän suhteen.

Polttoaineen kosteuspitoisuus määritettiin Inmec Instruments Ltd:n BMA-TD -mikroaaltopohjaisella pikamittalaitteella. Pikamittalaitteen kalibroinnissa käytettiin noin 90:tä uunikuivausmenetelmällä analysoitua kosteusnäytettä. Kalibrointinäytteiden määrän ansiosta kalibrointi suoritettiin polttoainetoimittajakohtaisesti. Suurin osa kalibrointinäytteistä oli analysoitu jo ennen koejakson alkamista. Koejakson aikana 14 näytettä määritettiin uunikuivausmenetelmällä ja saatuja tuloksia käytettiin ainoastaan mittalaitteen kalibrointiin. Näytteenottomenetelmien väliseen vertailuun käytettiin ainoastaan pikamittalaitteella määritettyjä kosteusarvoja.

6.2 Tulokset

Kuviosta 7 nähdään, että kosteusarvojen mukailevat toisiaan riippumatta näytteenottomenetelmästä kohtalaisen tarkasti siten, että standardimenetelmällä otetut näytteet olivat kosteampia. Kahdeksassa tapauksessa kuljettajien ottamat näytteet olivat kosteampia kuin standardimenetelmällä otetut näytteet. Standardiin SFS-EN 14778 pohjautuva näytteenotto tuotti keskiarvoisesti 3,36 prosenttiyksikköä kosteampia näytteitä. Keskimääräinen kosteus standardimallin mukaisella näytteenotolla oli 43,77 prosenttia ja yleisellä näytteenottomenetelmällä 40,41 prosenttia. Tulokset olivat odotuksen mukaisia. Tarkat kuormakohtaiset arvot löytyvät liitteestä 3.



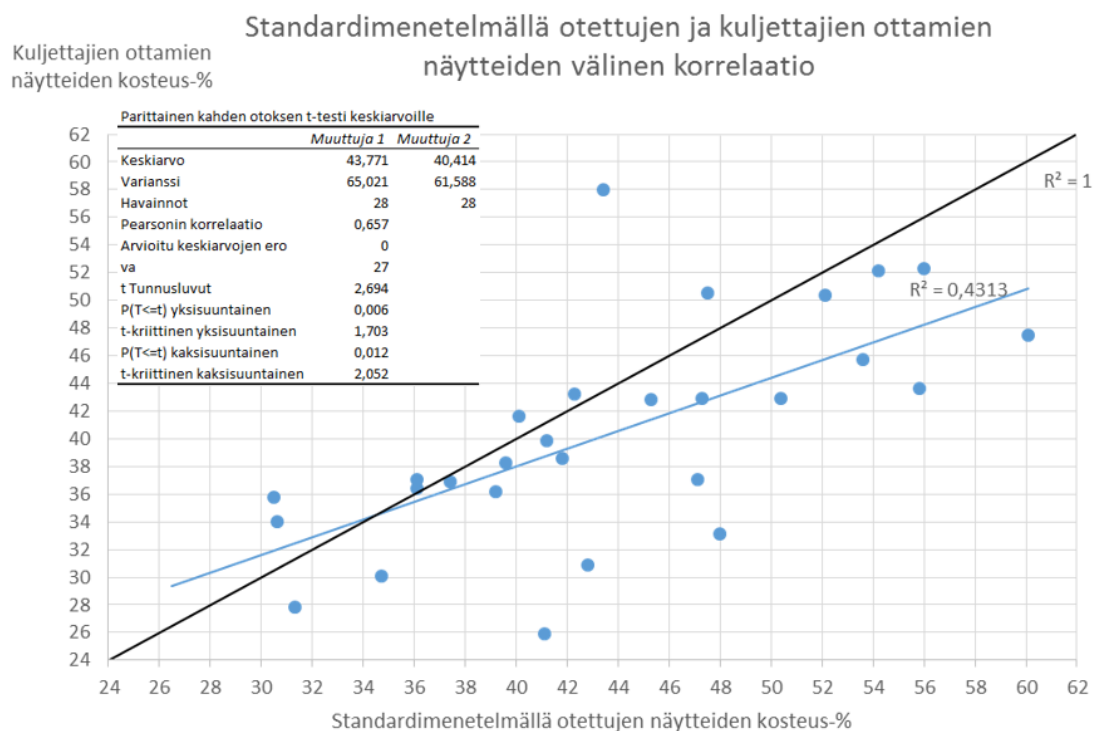
Kuvio 7. Kuormakohtaiset kosteusarvot

Yksittäisten näytteiden kosteusarvon ero oli jopa 35 prosenttiyksikköä. Molempien näytteenottomenetelmien kosteuden keskihajonta oli noin 8 prosenttiyksikköä, kuten taulukossa 2 on esitetty. Keskihajonta kertoo näytteiden keskimääräisen eron keskiarvosta. Keskihajonnan suuruutta voidaan selittää sillä, että näytteenotto suoritettiin talvella, jolloin mitataan kosteuden ja hajonnan suurimmat arvot (Järvinen 2011, 23, 52).

Taulukko 2. Rinnakkaisnäytteiden koejakson keskihajonta.

Näytteenotto menetelmä	Kosteuden keskihajonta %-yksikköä
Standardin mukainen näytteenottomenetelmä	8,06
Kuljettajien suorittama näytteenotto	7,85
Erotus	0,22

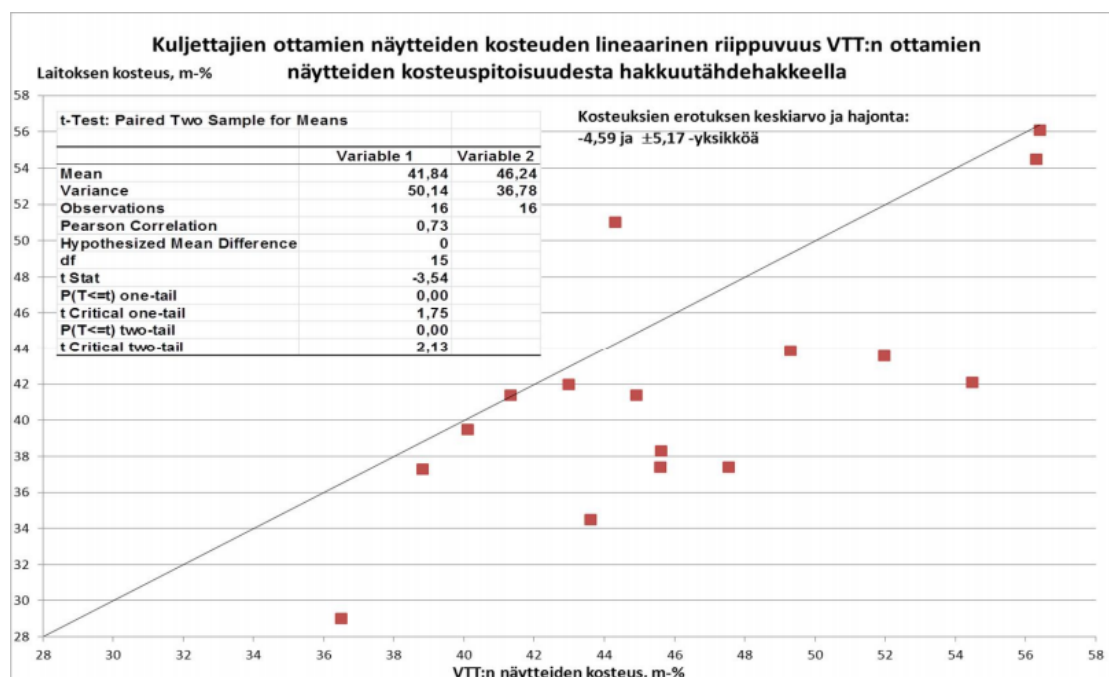
Yksittäisten näytteiden suuri kosteushajonta on metsäpolttoaineille ominaista, eikä kerro itse näytteenotosta kovinkaan paljoa. Tärkeämpää onkin seurata näytteenotto-
menetelmien vaikutusta analysoituun kosteusarvoon. Tätä on havainnollistettu kuvi-
ossa 8 parittaisella kahden riippuvan otoksen T-testillä sekä korrelaation havainto-
kaaviolla.



Kuvio 8. Rinnakkaisnäytteiden koejaksolta saatujen tulosten pohjalta laskettu parittaisen kahden riippuvan otoksen T-testin tunnusluvut ja korrelaation havaintokaavio.

Kuviossa 8 on vertailtu kuljettajien ottamia näytteitä ja standardimenetelmällä otettuja näytteitä. Näytteiden välillä on kohtalaista korrelaatiota siten, että standardimenetelmällä otetut näytteet ovat kosteampia. T-testin hypoteesi, että näytteiden keskiarvon erotus on nolla, ei toteudu, koska P-kaksisuuntainen on pienempi kuin 0,05. Näin ollen näytteenottomenetelmien välistä eroa ei voida selittää ainoastaan otantavirheellä.

VTT on vuonna 2011 tehnyt selvityksen, jossa verrataan standardeihin pohjautuvan näytteenoton vaikutusta laitosten omaan näytteenottoon. VTT:n käyttämät standardit olivat näytteenoton ja näytteen esikäsittelyn osalta samoja kuin tässä työssä. Yksi VTT:n selvityksessä mukana olleista polttoaineista oli hakkuutähdehake, jonka toinen nimitys on metsätähdehake. Kuviossa 9 on esitetty VTT:n tutkimusraportissa analysoidut tulokset metsätähdehakeelle.



Kuvio 9. VTT:n ja laitoksen näytteenoton analyysi metsätähdehakeella (Järvinen 2011, 37).

Vaikka VTT:n otanta oli ainoastaan 16 kpl, niin VTT:n ja tämän työn tulokset ovat hyvin samansuuntaisia ja tukevat mielestäni toisiaan niin T-testin kuin näytteiden korrelaation osalta. VTT:n Järvinen on tutkimusraportissaan VTT-R-01322-12 todennut, että laitosten sovellus laatuohjeen näytteenotosta näyttää johtavan systemaattisesti todellista pienempiin kosteustuloksiin metsätähdehakeella (Järvinen 2011, 37).

Saman johtopäätöksen voi tehdä myös tämän työn rinnakkaisnäytteiden koejaksosta. Näyttää siltä, että laitoksen normaalin toimintamallin mukainen polttoainetoimittajien suorittama näytteenotto antaa virheellisesti todellista pienempiä kosteustuloksia

eikä ole riittävän tarkka näytteenoton laadukkaaseen suorittamiseen metsätähdehakkeella.

Kaikkien kuormien keskikoko oli 33,856 tonnia (ks. liite 3). Kuormien massalla ei ollut merkitsevää vaikutusta mitattuihin kosteustuloksiin.

6.3 Erojen syyt

Systemaattinen virhe on laitteista ja menetelmistä johtuva virhe. Näytteenotossa systemaattisella virheellä voidaan tarkoittaa sitä, että näytteenottomenetelmä tuottaa jatkuvasti kosteampia tai kuivempia kosteustuloksia kuin todellisuudessa on. Myös mittalaitteisto, jota ei ole kalibroitu riittävän usein, voi antaa jatkuvasti virheellistä mittaustulosta. Rinnakkaisnäytteiden koejaksolla kaikki näytteet käsiteltiin ja kosteus määritettiin samalla kalustolla ja menetelmällä, joten siitä aiheutunut mahdollinen systemaattinen virhe on mukana kaikissa näytteissä, eikä aiheuta eroa kummankaan eduksi.

Standardin mukaisella näytteenottomenetelmällä otetuista näytteistä mitattiin systemaattisesti kosteampia tuloksia kuin kuljettajien ottamista näytteistä. Tätä eroa ei voida selittää otantavirheellä vaan eroon johtaneet syyt löytyvät, kun tarkkaillaan näytteenottomenetelmien eroavaisuuksia.

Rinnakkaisnäytteiden koejakson aikana havaittiin seuraavia virhettä kasvattavia toimintatapoja kuljettajien näytteenottotavoissa:

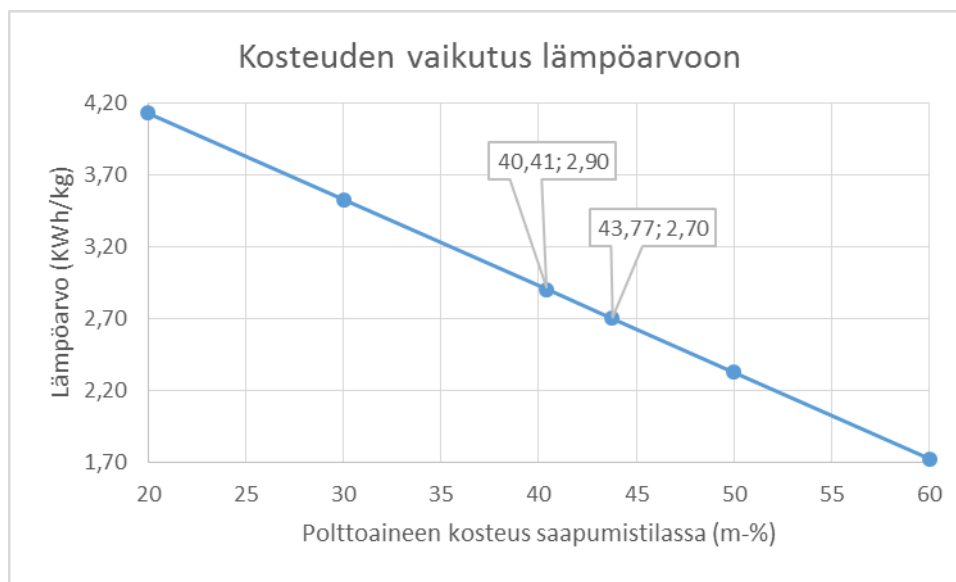
- Näyte otetaan polttoaineelle huonosti soveltuvalla näytteenottovälineellä.
- Yksittäisnäytteitä otetaan liian vähän.
- Näytteitä ei oteta tasaisesti kuorman pituudelta, vaan näytteet otetaan liian nopeasti polttoaineen purkuvaiheen alettua.
- Näyte valikoidaan tiedostamatta/tiedostaen ja vaikka näytteitä otettaisiin riittävästi, ei kokoomanäytettä voida pitää kuormaa edustavana.
- Paikallaan olevasta kasasta näyte otetaan kasan pintakerroksesta.

Mikään näistä toimintatavoista ei kuulu standardin mukaiseen näytteenottoon, mutta lähes poikkeuksetta kuljettajat käyttivät jotain mainituista toimintatavoista. Edellä mainittuihin virhettä lisääviin toimintatapoihin vaikuttavat laitoksella käytössä olevat ohjeistukset, valvonta sekä kuljettajien huolellisuus. Manuaalisen näytteenoton virheestä puhuttaessa puhutaan samalla inhimillisestä virheestä. Tästä johtuen on muistettava, että kokonaisvirheeseen johtaneita syitä on useita ja yksittäisten syiden kokoluokkaa on vaikea arvioida.

7 Standardin mukaisen laadunvalvonnan taloudelliset vaikutukset

Kuten luvussa 6.2 todettiin, että standardin mukainen näytteenotto tuottaa systemaattisesti kosteampia tuloksia. Mitä kosteampaa polttoaine on, sitä vähemmän se sisältää energiaa massayksikköä kohden. Koska lämpö- ja voimalaitokset maksavat polttoaineesta sen sisältämän energian mukaan, on kosteampi polttoaine voimalaitokselle edullisempaa kuin kuiva, enemmän energiaa sisältävä polttoaine. Polttoaineen tehollinen lämpöarvo saapumistilassa kertoo, kuinka paljon energiaa polttoaine luovuttaa täydellisessä palamisessa massayksikkö kohden, kun otetaan huomioon polttoaineen sisältämän kosteuden höyrystämiseen kulutettu energia (Biopolttoaineiden lämpöarvoja. 2016). Saapumistilan tehollisen lämpöarvon laskennassa käytävä kaava löytyy liitteestä 4.

Kosteus vaikuttaa metsäpolttoaineen saapumistilan lämpöarvoon kuvion 10 mukaisesti. Kuviosta nähdään myös rinnakkaisnäytteiden koejakson näytteenottomenetelmien vaikutus polttoaineen lämpöarvoon. Vaikka kosteuden erotus on 3,36 prosenttiyksikköä, on lämpöarvon erotus liki kaksinkertainen ollessaan noin 7 prosenttia.



Kuvio 10. Kosteuden vaikutus polttoaineen saapumistilan lämpöarvoon.

Energiasisältö toimii polttoaineen hinnan määrittävänä tekijänä, joten käytettäessä tämän opinnäytetyön tuloksia 3,36 prosenttiyksikön kosteudenmuutos leikkaa polttoaineen hinnasta lähes seitsemän prosenttia kuten kuviosta 10 nähdään. Rinnakkaisnäytteiden koejaksolla polttoainekuormien keskikoko oli 33,856 tonnia. Jos polttoaine maksaisi 20 €/MWh, niin laitos maksaisi noin 140 euroa vähemmän yhdestä polttoainekuormasta. Suurissa 100 GWh:n polttoainetoimituksissa vaikutus on lähes 150 tuhatta euroa. Paremmen kuvan vaikutuksista saa, kun tuloksia vertaillaan todelliseen voimalaitokseen. Vuonna 2016 Kuopion Energia käytti biopolttoaineita 798 GWh (Kuopion Energian... N.d). Jos tämän työn tulokset olisivat siirrettävissä myös muihin biopolttoaineisiin, Kuopion Energia säästäisi polttoainekustannuksissa noin 1,2 miljoonaa euroa vuodessa.

Voimalaitoksen taloutta voi rasittaa myös polttoaineen suuret laadulliset vaihtelut ja odotusta pienempi energiasisältö, joka voi ajaa voimalaitoksen tilanteeseen, jossa se

ei saa tuotettua suunnitelman mukaista määrää sähköä ja joutuu ostamaan tuottamatta jääneen sähkön suoraan sähkömarkkinoilta. Sähkömarkkinoilta ostettu sähköenergia on normaalissa tilanteessa huomattavasti kalliimpaa kuin laitoksen itse tuotama sähköenergia. (Ikonen, Jahkonen, Pasanen & Tahvanainen 2013, 14.)

8 Pohdinta

Työn tavoitteena oli selvittää biopolttoaineiden standardin mukaisen näytteenoton vaikutusta todelliseen lämpö- ja voimalaitoksella vallitsevaan tilanteeseen, jossa näytteenotto suoritetaan vanhentuneen ohjeistuksen mukaisesti ilman riittävää laadunvalvonnan seurantaa. Toimeksiantajan ennakkotietojen pohjalta laadukkaalla standardin mukaisella näytteenotolla pystytään pienentämään näytteenoton systemaattista ja satunnaista virhettä ja parantamaan laadunvalvonnan luotettavuutta.

Työn keskiössä toimi rinnakkaisnäytteiden koejakso, jonka ajalta saatuja tuloksia käytettiin näytteenottomenetelmien vertailuun. Vertailu tapahtui T-testin ja eri havaintomenetelmien avulla. Samankaltaista vertailumenetelmää on käyttänyt myös VTT biopolttoaineiden näytteenottoon liittyvässä tutkimusraportissaan VTT-R-01322-12. VTT:n tulokset metsätähdehakkeen osalta ovat hyvin samankaltaisia tämän opinnäytetyön kanssa: Näytteenottostandardi parantaa näytteenoton laatua. Laitosten normaalin toimintatavan ja ohjeistuksen mukainen näytteenotto antaa virheellisesti todellista pienempiä kosteustuloksia.

T-testin tuloksista havaittiin, ettei näytteenottomenetelmien 3,36 prosenttiyksikön eroa voida selittää ainoastaan otantavirheellä. Metsätähdehakkeen kosteuden keskihajonta on suuri, mutta tulosten perusteella koejakson otanta oli riittävä. Lisäksi koejakson ja VTT:n tutkimusraportin otantakokoja vertailemalla huomataan tämän työn koejakson olleen riittävän laaja, sillä VTT:n raportissa samansuuntaiset tulokset on saatu lähes puolet pienemmällä otannalla. Tämänkaltaisissa kokeissa pienempi keskihajonta ei välttämättä kerro tarkemmasta näytteenotosta (näyte on esim. saa-

tettu ottaa systemaattisesti lajittuneesta osasta kuormaa). Polttoaineen kosteuden hajonta onkin yksi polttoaineen ominaisuuksista, ja metsätähdehakkeella sen tiedetään olevan suuri verrattuna muihin metsäpolttoaineisiin.

Opinnäytetyön tulokset antavat selkeän johtopäätöksen metsätähdehakkeelle, mutta muille, etenkin tasalaatuisemmille polttoaineille opinnäytetyön tulokset eivät välttämättä ole suoraan rinnastettavissa. Mitä tasalaatuisempaa polttoaine on, niin sitä pienempi kuorman sisäinen kosteushajonta on ja sitä vähemmän yksittäisnäytteitä täytyy kuormasta ottaa, että päästään laadunvalvonnan hyvään kokonaisvirhetarkkuuteen. Teoriassa tasalaatuisemmat polttoaineet eivät vaadi yhtä laadukasta näytteenottoa kuin esim. metsätähdehake. Tästä huolimatta myös muita polttoaineita käytettäessä näytteenottomenetelmien kehittäminen saattaisi tuoda hyötyä lämpö- ja voimalaitosten toimintaan, vaikkei ero olisikaan niin selkeä kuin metsätähdehakkeen kohdalla. Opinnäytetyön perusteella myös muiden polttoainelaatujen näytteenoton testaaminen olisi suositeltavaa.

Puuperäisiä polttoaineita käytetään Suomen lämpö- ja voimalaitoksilla yleisesti ja tämän työn tuloksien perusteella laitokset voisivat säästää metsätähdehakkeen polttoainekustannuksissa noin 7 prosenttia. Jos näin kävisi niin samansuuruinen taloudellinen paine siirtyisi polttoainetuottajille, mikä osaltaan kannustaisi polttoainetoimittajia toimittamaan laadukkaampaa ja energiapitoisempaa polttoainetta, josta myös maksetaan parempaa hintaa tarkemman näytteenoton ansiosta. Lisäksi luotettavampi laadunvalvonta parantaa lämpö- ja voimalaitosten prosessin tehokasta ja katkeamatonta toimintaa. Laadukas standardeihin pohjautuva polttoaineen näytteenotto luo pohjan laadunvalvonnalle.

Lähteet

- Biopolttoaineiden lämpöarvoja. 2016. Motivan kotisivuilta löytyvä taulukko biopolttoaineiden lämpöarvoista. Viitattu. 16.3.2017.
https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/bioenergia/tietolahteita/biopolttoaineiden_lampoarvoja
- BMA – Desktop Moisture Analyzer. N.d. Tuotekuvaus Inmec Instruments Ltd:n kotisivuilla. Viitattu 24.3.2017. <http://www.inmec.fi/en/products/18-2/>
- Föhr, J., Karttunen, K., Korpilahti, A., Palojärvi, K. & Ranta, T. 2010. Puupolttoaineiden ja polttoturpeen kuljetuskalusto 2010. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. SKAL ja Metsäteho Oy. Metsätehon tulostuskalvosarja 2/2012. Viitattu 23.4.2017.
http://www.metsateho.fi/wp-content/uploads/2015/02/Tuloskalvosarja_2012_02_Puupolttoaineiden_ja_polttoturpeen_kuljetuskalusto_ak_ym.pdf
- Ikonen, T., Jahkonen, M., Pasanen, K. & Tahvanainen, T. 2013. Laadunhallinta ja keskeiset laatutekijät metsäenergian toimitusketjussa. Metlan työraportti. Viitattu 16.3.2017. <http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/2013/mwp275.pdf>
- Järvinen, T. 2011. Kiinteiden biopolttoaineiden CEN – näytteenottostandardin soveltaminen Suomen oloihin. VTT:n tutkimusraportti VTT-R-01322-12. Viitattu 12.3.2017. http://energia.fi/files/1135/CENsov_Tutkimusraportti_240412.pdf
- Kananen, J. 2011. Kvantti - Kvantitatiivisen opinnäytetyön kirjoittamisen käytännön opas. Jyväskylän ammatti korkeakoulun julkaisu opinnäytetyön kirjoittajalle. Jyväskylä: Jyväskylän ammattikorkeakoulu
- Kananen, J. 2015a. Opinnäytetyön kirjoittajan opas: näin kirjoitan opinnäytetyön tai pro gradun alusta loppuun. Jyväskylä: Jyväskylän ammattikorkeakoulun julkaisu opinnäytetyön kirjoittajalle.
- Kananen, J. 2015b. Kehittämistutkimuksen kirjoittamisen opas - miten kirjoitan kehittämistutkimuksen vaihe vaiheelta. Jyväskylän ammatti korkeakoulun julkaisu opinnäytetyön kirjoittajalle. Jyväskylä: Jyväskylän ammattikorkeakoulu.
- Kanko, L-J. 2010. Biopolttoaineiden kosteuden mittaaminen online-sovelluksena. Vaasan AMK opinnäytetyö. Viitattu 19.4.2017.
https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/25192/Kanko_Lasse.pdf?sequence=1
- Kuopion Energian Tilinpäätös 2016. N.d. Kuopion Energian kotisivuilta löytyvä tilinpäätös vuodelta 2016. Viitattu. 24.4.2017.
<https://www.kuopionenergia.fi/2017/03/kuopion-energian-tilinpaatos-2016/>
- Laine, P. 2016. Henkilöstöjohtamisen uudet standardit. Suomen standardisoimisliitto SFS ry:n esittelytilaisuuden avaus diasarja. Viitattu 9.3.2017.
<https://www.slideshare.net/SuomenStandardisoimisliitto/hrm-isostandardit-avaus-2016-12-08-pirjetta-laine>

Mitä standardisointi on?. N.d. Artikkelit Suomen standardisoimisliitto SFS ry:n kotisivuilla. Viitattu 9.3.2017.

http://www.sfs.fi/standardien_laadinta/mita_standardisointi_on

Puupolttoaineiden laatuohje VTT-M-07608-13 – päivitys 2014. 2014. Bioenergia ry, Energiateollisuus ry ja Metsäteollisuus ry. Viitattu 22.2.2017.

http://www.vtt.fi/inf/julkaisut/muut/2014/VTT-M-07608-13_2014_%20update.pdf

SFS-EN 14778. Kiinteät biopolttoaineet. Näytteenotto standardi SFS-EN 14778:2011. Viitattu 6.4.2017. <https://janet.finna.fi/>, SFS Online.

SFS-EN 14780. Kiinteät biopolttoaineet. Näytteen esikäsittely standardi SFS-EN 14780:2011. Viitattu 6.4.2017. <https://janet.finna.fi/>, SFS Online.

SFS-EN ISO 18134-1:2015. Solid biofuels. Determination of moisture content. Oven dry method. Part 1: Total moisture. Reference method (ISO 18134-1:2015). Kiinteät biopolttoaineet. Kosteuspitoisuuden määrittäminen. Uunikuivausmenetelmä. Osa 1: Kokonaiskosteus. Vertailumenetelmä. Viitattu 6.4.2017. <https://janet.finna.fi/>, SFS Online.

SFS-EN ISO 18134-2:2017. Solid biofuels. Determination of moisture content. Oven dry method. Part 2: Total moisture. Simplified method (ISO 18134-2:2017). Kiinteät biopolttoaineet. Kosteuspitoisuuden määrittäminen. Uunikuivausmenetelmä. Osa 2: Kokonaiskosteus. Yksinkertaistettu menetelmä. Viitattu 8.3.2017. <https://janet.finna.fi/>, SFS Online.

Standardi on yhteinen ratkaisu yleiseen ongelmaan. N.d. Video standardisoinnista Suomen standardisoimisliitto SFS ry:n kotisivuilla. Viitattu 7.3.2017.

http://www.sfs.fi/julkaisut_ja_palvelut/standardi_tutuksi

Liitteet

Liite 1. Yksittäisnäytteiden lukumäärän laskenta

Yksittäisnäytteiden lukumäärään vaikuttaa kuorman sisäinen kosteushajonta, toimitettujen kuormien/toimituksien lukumäärä ja haluttu tarkkuusvaatimus. Kuorman sisäisen kosteushajonta on polttoaineominaisuus, joka on erityisen suurta metsähakkeilla. Metsähakkeiden sisäistä kosteushajontaa on selvitetty Voimalaitosten maantieteellinen sijainnin ja vuodenajan mukaan (Järvinen 2011). Yksittäisnäytteiden lukumäärä lasketaan näytteenottostandardin SFS-EN 14778 mukaisesti kaavalla:

$$n = \frac{4V_I}{NP_L^2 - 4V_{PT}}$$

Jossa,

n = yksittäisnäytteiden pienin lukumäärä

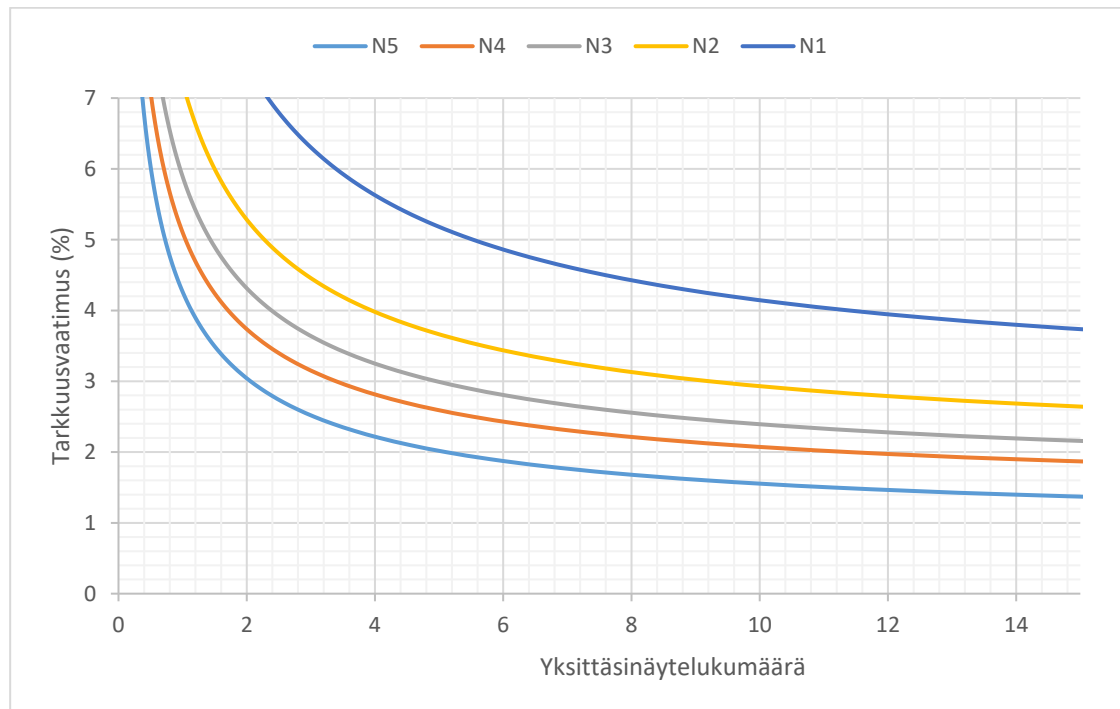
P_L = haluttu kokonaistarkkuus sisältäen näytteenoton, esikäsittelyn ja määrittelyn (analyysin) 95 %:n tilastollisella luottamustasolla

V_I = primäärinen yksittäisnäytteiden välinen varianssi (= sisäisen hajonnan neliö s_d^2)

N = toimituserän osien (sublot) lukumäärä, Suomessa kuormalukumäärä

V_{PT} = esikäsittelyn ja määrittelyn varianssi.

Kuviossa 2 kuorman sisäisenä kosteushajontana on käytetty hakkuutähdehakkeen keskimääräistä kosteushajontaa ($s_d = 4,92$ %- yksikköä) ja esikäsittelyn ja määrittelyn varianssina 1,88. (Puupolttoaineiden laatuohje... 2014, 55.)



Kuvio 11. Kuormamäärien ja tarkkuusvaatimuksen suhde yksittäisnäytelukumäärään

- Kun voimalaitokselle tulevasta kuormasta otetaan kuusi yksittäisnäytettä ja kuormien lukumäärä on neljä kappaletta. Päästään kokonaistarkkuudessa lähelle $\pm 2,5$ prosenttiyksikköä.
- Pienillä toimitusmäärillä yksittäisnäytteiden määrää tulee kasvattaa, jotta virhe olisi edes hallittavissa.
- Suurillakin toimitusmäärällä kuormasta tulee ottaa useampia yksittäisnäytteitä.
- Kuorman sisäinen kosteushajonta ei muuta käyrän motoa, vaan tarkkuuden suuruutta.

Liite 2. Puupolttoaineiden lämpöarvoja

Taulukossa neljä on esitetty eri puupolttoaineiden lämpöarvoja. Tehollinen lämpöarvo kuiva-aineessa kertoo kuinka paljon energiaa polttoaineesta vapautuu täydellisessä palamisessa, kun ei huomioida savukaasujen mukana poistuvaa, polttoaineeseen sitoutuneen veden höyrystämiseen kulutettua energiaa. (Biopolttoaineiden lämpöarvoja 2016.)

Tehollinen lämpöarvo saapumistilassa kertoo kuinka paljon polttoaineesta vapautuu energiaa täydellisessä palamisessa, kun laskennassa vähennetään polttoaineeseen sitoutuneen veden höyrystämiseen kulutettua energiaa. Tämä lämpöarvo laskee, jos polttoaineen sisältämä vesimäärä lisääntyy. (Biopolttoaineiden lämpöarvoja 2016.)

Taulukko 3. Puupolttoaineiden lämpöarvoja (Biopolttoaineiden lämpöarvoja 2016)

Taulukko 1. Puupolttoaineiden lämpöarvoja.			
Lämpöarvo	Metsätähdehake	Kokopuu-hake	Rankahake
Tehollinen lämpöarvo kuiva-aineessa MJ/kg	18,5-20	18,5-20	18,5-20
Tehollinen lämpöarvo saapumistilassa MJ/kg	6-9	7-10	7-11
Lämpöarvo	Kantohake	Havupuun kuori	Koivun kuori
Tehollinen lämpöarvo kuiva-aineessa MJ/kg	18,5-20	18,5-20	21-23
Tehollinen lämpöarvo saapumistilassa MJ/kg	8-13	5-9	8-11
Lämpöarvo	Pilke	Puutähdehake	Sahahake
Tehollinen lämpöarvo kuiva-aineessa MJ/kg	18,5-19,0	18,5-20	18,5-20
Tehollinen lämpöarvo saapumistilassa MJ/kg	13,4-14,5	6-15	6-10
Lämpöarvo	Sahanpuru	Kutterinlastu ja hiontapöly	Puupelletti
Tehollinen lämpöarvo kuiva-aineessa MJ/kg	19-19,2	19-19,2	19,0-19,2
Tehollinen lämpöarvo saapumistilassa MJ/kg	6-10	16-18	16,8

Liite 3. Rinnakkaisnäytteiden koejakson tarkat tulokset

Taulukossa 3 on esitetty rinnakkaisnäytteiden koejakson käsitellyt tulokset. BMA-% tarkoittaa kosteusprosenttia BMA-pikakosteuslaitteella. Taulukon alapäästä löytyy keskiarvot seuraaville arvoille: BMA-% Standardin mukainen, BMA-% yleisesti käytetty, Paino (t) ja näytteenottomenetelmien välinen kosteus ero.

Taulukko 4. Rinnakkaisnäytteiden koejakson tarkat käsitellyt tulokset.

Lukumäärä	Näytteenotto päivä- määrä	BMA-% Standardin mukainen	BMA-% kuljet- tajien	Paino (t)
1	5.2.2017 11:29	45,3	42,8	27,68
2	5.2.2017 12:38	42,8	30,9	29,64
3	5.2.2017 12:41	31,3	27,8	33,02
4	5.2.2017 13:48	47,1	37,1	22,94
5	5.2.2017 8:34	40,1	41,6	37,44
6	6.2.2017 10:40	53,6	45,7	34,02
7	6.2.2017 10:59	56	52,3	40,6
8	6.2.2017 11:33	43,4	58	47,9
9	6.2.2017 12:25	39,2	36,2	40,16
10	6.2.2017 12:54	47,3	42,9	47,8
11	6.2.2017 13:29	41,1	25,9	25,34
12	6.2.2017 13:34	36,1	36,4	27,08
13	7.2.2017 10:40	30,5	35,8	38,04
14	7.2.2017 11:40	42,3	43,2	41,6
15	7.2.2017 12:54	30,6	34	22,4
16	7.2.2017 12:56	37,4	36,9	43,42
17	8.2.2017 10:50	48	33,1	37,72
18	8.2.2017 11:31	39,6	38,3	31,04
19	8.2.2017 12:03	55,8	43,6	35,32
20	8.2.2017 9:49	36,1	37,1	29,94
21	9.2.2017 10:31	50,4	42,9	29,52
22	9.2.2017 12:26	41,8	38,6	31,9
23	9.2.2017 13:10	34,7	30,1	29,42
24	9.2.2017 13:12	41,2	39,9	34,56
25	9.2.2017 8:08	54,2	52,1	26,74
26	9.2.2017 9:18	47,5	50,5	34,44
27	9.2.2017 9:35	52,1	50,4	39,6
28	9.2.2017 9:58	60,1	47,5	28,7
		Keskiarvo %	Keskiarvo %	Keskiarvo (tonnia)
		43,77	40,41	33,856
		Näytteenottomenetelmien välinen kosteus ero		
			3,36	%-yksikköä

Liite 4. Polttoaineen tehollinen lämpöarvo saapumistilassa - laskenta

Polttoaineen tehollinen lämpöarvo saapumistilassa kertoo polttoaineen sisältämän energiamäärän tietyssä kosteudessa. Tehollinen lämpöarvo saapumistilassa laske-
taan kaavan 3 mukaan.

(3)

$$Q_{\text{kosteas.tila}} = Q_{\text{kuivas.tila}} \times (100 - M_{\text{s.tila}})/100 - 0,02443 \times M_{\text{s.tila}}$$

missä

$Q_{\text{kosteas.tila}}$ = tehollinen lämpöarvo saapumistilassa

$Q_{\text{kuivas.tila}}$ = Tehollinen lämpöarvo kuiva-aineessa

$M_{\text{s.tila}}$ = Polttoaineen kosteus saapumistilassa

0,02443 = Entalpian korjauskerroin 25 °C lämpimälle vedellä vakiopai-
neessa

Polttoaineen kuiva-aineen teholliseksi lämpöarvoksi voidaan valita tyypillinen arvo tai laskea SFS-EN 14918 mukaan. Metsäpolttoaineilla kuiva-aineen tehollinen lämpöarvo on tyypillisesti 18,5 – 20,0 MJ/Kg, katso liite 4. Jos tulos halutaan muuttaa muotoon kWh/kg, se tehdään laskennan jälkeen (Puupolttoaineiden laatuohje... 2014, 51.)